

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-198322

(P2002-198322A)

(43)公開日 平成14年7月12日 (2002.7.12)

(51)Int.Cl.⁷
H 01 L 21/265
21/26
29/78
// H 01 L 21/268

識別記号
6 0 2

F I
H 01 L 21/265
21/268
21/26
29/78

テ-マコ-ト(参考)
6 0 2 B 5 F 1 4 0
J
J
3 0 1 F

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願2000-398434(P2000-398434)

(22)出願日 平成12年12月27日 (2000.12.27)

(71)出願人 000102212

ウシオ電機株式会社
東京都千代田区大手町2丁目6番1号 朝
日東海ビル19階

(72)発明者 斎藤 滌

兵庫県姫路市別所町佐土1194番地 ウシオ
電機株式会社内

(72)発明者 大和田 樹志

兵庫県姫路市別所町佐土1194番地 ウシオ
電機株式会社内

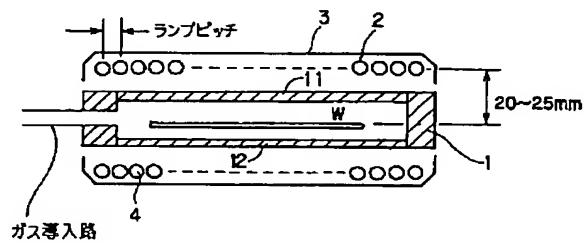
F ターム(参考) 5F140 AA00 AA13 BA01 BD05 BF04
BF11 BF17 BG14 BK13 BK20
BK21 CB04

(54)【発明の名称】 热処理方法及びその装置

(57)【要約】

【課題】 イオン注入した不純物のプロファイルを崩すことなく、また、バターンの揮発などの問題を起こすことなく注入された不純物を活性化する熱処理方法及びその装置を提供することにある。

【解決手段】 被処理物の一部またはその全体の昇温速度が $2 \times 10^1 \sim 2 \times 10^5$ °C/秒の範囲となる加熱手段を備えたことを特徴とする熱処理装置。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 被処理物の一部またはその全体を加熱処理する工程において、被処理物の昇温速度が $2 \times 10^1 \sim 2 \times 10^6$ °C/秒の範囲であることを特徴とする熱処理方法。

【請求項2】 被処理物の一部またはその全体を加熱処理する工程において、予め被処理物を所定温度まで予備加熱する工程と、該被処理物の昇温速度が $2 \times 10^1 \sim 2 \times 10^6$ °C/秒の範囲で昇温する工程と、該予備加熱温度から室温までの温度範囲に降温する工程とを含むことを特徴とする熱処理方法。

【請求項3】 被処理物の一部またはその全体を加熱処理する工程において、該被処理物の昇温速度が $2 \times 10^1 \sim 2 \times 10^6$ °C/秒の範囲で昇温して所望の温度に到達した後、直ちに降温する工程を含むことを特徴とする熱処理方法。

【請求項4】 被処理物の一部またはその全体を加熱処理する工程において、予め被処理物を所定温度まで予備加熱し、該被処理物の昇温速度が $2 \times 10^1 \sim 2 \times 10^6$ °C/秒の範囲で昇温して所望の温度に到達した後、直ちに該予備加熱温度まで降温する工程を含むことを特徴とする熱処理方法。

【請求項5】 被処理物の一部またはその全体の昇温速度が $2 \times 10^1 \sim 2 \times 10^6$ °C/秒の範囲となる加熱手段を備えたことを特徴とする熱処理装置。

【請求項6】 被処理物の一部またはその全体を予め加熱する予備加熱手段と、被処理物の一部またはその全体の昇温速度が $2 \times 10^1 \sim 2 \times 10^6$ °C/秒の範囲となる加熱手段を備えたことを特徴とする熱処理装置。

【請求項7】 前記被処理物の一部またはその全体の昇温速度が $2 \times 10^1 \sim 2 \times 10^6$ °C/秒の範囲となる加熱手段が、フラッシュランプであることを特徴とする請求項5又は請求項6記載の熱処理装置。

【請求項8】 前記予備加熱手段が、白熱ランプであることを特徴とする請求項6又は請求項7記載の熱処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体や液晶基板などの熱処理を行う熱処理装置および熱処理方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 集積回路の高集積化および高性能化の要求を満たすために、それを構成するトランジスタの微細化が著しく進んでいる。トランジスタの中で最も寸法の小さい部分はゲート長であるが、開発過程では既に 100 nm 以下の領域に突入している。ゲート長を縮小するに当たっては、比例縮小則に則ってゲート酸化膜を薄くしたりpn接合を浅くしなければトランジスタは所望の性能を発揮しない。

【0003】 トランジスタ製造過程では、酸化やアーナルなど様々な熱処理が行われる。中でも温度と時間の管理に注意を要するのが、浅い拡散層(pn接合)形成プロセスである。pn接合(MOSトランジスタの場合、ソースおよびドレーン)を形成する場合通常、イオン注入によってシリコン基板中に不純物を導入し、続いて熱処理によって注入された不純物(例えば、ホウ素(B)や砒素(A)s)など)の活性化を行う。活性化過程では、イオン注入によって導入した不純物のプロファイル(シリコン中深さ方向での不純物の濃度分布)をそのまま保持して活性化を行うことが最も好ましい。最近の先端デバイスや今後の極微細トランジスタの製造に際しては、特にこの点、すなわち不純物プロファイルを維持し、かつ100%活性化を行うことが要求されている。

【0004】 活性化は以前、拡散炉にて行われた。拡散炉の特徴は、炉への導入から取り出しを含めて、ウエーハの加熱される時間が長いことである。例えば、ドーパントの活性化に必要な熱処理が $900^{\circ}\text{C}/10\text{分}$ と仮定すると、室温から 900°C に保持された炉内へのウエーハの導入に20分程度を要し、さらに、 900°C から室温までの取り出しに同様に20分程度を要する。いわゆるスローライン、スローアウトと呼ばれるこのようなくっくりした炉内への出し入れは、シリコンウエーハ中のスリップ発生を防止することを目的としている。しかしながら、この間にドーパントが拡散して拡散層が所望の深さよりも深くなり、トランジスタの性能を損なう。トランジスタが微細になりpn接合の深さが浅くなるとともに、この余分な時間に不純物が拡散することによって起こるプロファイルの「くずれ」が極めて深刻な問題となつた。

【0005】 これを解決する手段として、1980年代半ばからRTP(Rapid Thermal Processor)が使用されるようになった。これは、ランプの光をウエーハに照射し、ウエーハを急速に加熱するとともに急速に降温する装置である。この装置は1秒間に数十°C~ 100°C 温度を上げることが可能で、最近では、ウエーハ面内での温度の均一性を度外視すれば、毎秒 200°C 程度の昇温を可能にした装置も現れている。この技術は広く普及し、現在イオン注入層の活性化はすべてRTPを用いて行われている。しかし、昨今のようにpn接合が 10 nm オーダーの深さまで浅くなると、イオン注入の加速電圧を下げ、シリコン基板の極めて浅い部分にのみ不純物を導入する技術が使用される。このような浅いpn接合を形成する場合には、RTPを用いても、僅かに起こる不純物の拡散により所望の深さよりも深くなることが深刻な問題となってきた。通常のRTP装置では $150^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ や $200^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ で昇温できるのは特定の限られた温度領域であり、室温から所望の温度までこの速度で昇温できるわけではない。装置によって多少の差があるが、 $600\sim800^{\circ}\text{C}$ 辺りの領域を最も高速で昇温

する。RTPを用いた熱処理では室温近傍から昇温し始め、所望の熱処理温度近傍にまで温度が上がるとランプのパワーを絞り、被処理物の温度が所望の処理温度を超えないように制御する。そのため加熱開始から所望の処理温度に到達するまでに10秒程度を要するのが実状である。さらに、RTPの場合、上下両方にランプを配置してウエーハ表裏両面から加熱する方法と、表面側だけにランプを配置し表面からのみ加熱する方法とがあるが、いずれにしても上記のように実質的な加熱時間が10秒以上に及ぶため、ウエーハ全体が加熱される。ウエーハ全体が加熱されることがRTPの特徴である。ウエーハ全体が加熱されるということは、加えられた熱量は大きいということを意味する。そのため、冷却に時間を要する。この冷却の間に不純物原子が拡散し、不純物原子のプロファイルはイオン注入された直後のそれと大幅に異なったものとなる。これが現在のRTPの問題点である。不純物プロファイルをイオン注入直後の形に保持するためには、さらに高速で昇温し、特に降温を高速で行う必要があるが、ウエーハ全体を加熱するRTPでは限界があった。

【0006】RTPに代わる技術としてレーザを用いたドーピング技術が研究されている（例えば、K.G.Ibbs, Ultra-violet laser doping, Optics and laser technology, feb. pp35-39, 1983）。これはドーバントを含む化合物のガス雰囲気中にウエーハを置き、シリコンウエーハ表面にエキシマーレーザ光（例えば、XeCl光、波長308nm）を照射して極短時間にドーピングを行う方法である。他に、イオン注入を行った後、レーザ光を照射して活性化を行うという方法も提案されている。エキシマーレーザのパルス幅10nsecのオーダーであることと、ウエーハによるレーザ光の吸収係数が大きいために加熱はシリコンウエーハ表層に限られる。そのため、極めて短時間に加熱および冷却することが可能である。

【0007】しかし、この方法には以下の難点がある。第一は、加熱される領域が浅すぎることである。エキシマーレーザは波長が短いためシリコン中の吸収が大きく、侵入深さは極めて浅い。加熱されるのは、シリコンウエーハの極表層に限られる。浅いpn接合を形成する場合には良いのであるが、通常のトランジスタ製造プロセスで行われる浅い接合と深い接合とを同時に活性化しようとする場合には、深い接合の活性化ができないという問題点を生じる。第二は、パターンが溶発（ablation）するなどの問題である。MOSトランジスタのソースやドレーンなどのpn接合を形成する場合には、既にゲート絶縁膜やゲート電極、素子分離領域などが形成済みである。素子分離領域にはシリコン酸化膜が埋め込まれているだけであるが、ゲート電極は多結晶シリコン、最近のデバイスではタンゲステンシリサイドやチタンシリサイドなどが使用されており、それらのパターン

が形成されている。これらの材料からなるゲート電極に対して自己整合的にイオン注入されている不純物を活性化するためにレーザ光を照射すると、シリコン中に注入された不純物を活性化するために必要なエネルギーであっても、場合によってはタンゲステンシリサイドやチタンシリサイドなど金属材料は光を吸収しすぎて揮発してしまうという問題である。シリコンよりも吸収係数の大きな材料が表面に存在する場合には、往々にしてこのような問題を生じる。これはレーザの1パルスのエネルギーが大きすぎることと材料の吸収係数が異なることに起因する問題で、避けがたい本質的なものである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】以上述べたように、従来のRTPでは昇温速度が遅すぎる上に加える熱量が大きいため、最近の微細デバイスや今後の微細デバイスでは、イオン注入した不純物の拡散が起こり必要な深さのpn接合を形成できないという問題がある。一方、レーザを用いた加熱方法では、材料によってレーザ光に対する吸収係数が異なるために吸収係数の大きな材料からなるパターンが揮発するなどの問題があった。本発明の目的とするところは、イオン注入した不純物のプロファイルを崩すことなく、また、パターンの揮発などの問題を起こすことなく注入された不純物を活性化する手段を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の熱処理方法は、被処理物の一部またはその全体を加熱処理する工程において、被処理物の昇温速度が $2 \times 10^4 \sim 2 \times 10^6$ °C/秒の範囲であることを特徴とする。請求項2の記載の熱処理方法は、被処理物の一部またはその全体を加熱処理する工程において、予め被処理物を所定温度まで予備加熱する工程と、該被処理物の昇温速度が $2 \times 10^4 \sim 2 \times 10^6$ °C/秒の範囲で昇温する工程と、該予備加熱温度から室温までの温度範囲に降温する工程とを含むことを特徴とする。請求項3の記載の熱処理方法は、被処理物の一部またはその全体を加熱処理する工程において、該被処理物の昇温速度が $2 \times 10^4 \sim 2 \times 10^6$ °C/秒の範囲で昇温して所望の温度に到達した後、直ちに降温する工程を含むことを特徴とする。請求項4に記載の熱処理方法は、被処理物の一部またはその全体を加熱処理する工程において、予め被処理物を所定温度まで予備加熱し、該被処理物の昇温速度が $2 \times 10^4 \sim 2 \times 10^6$ °C/秒の範囲で昇温して所望の温度に到達した後、直ちに該予備加熱温度まで降温する工程を含むことを特徴とする。請求項5に記載の熱処理装置は、被処理物の一部またはその全体の昇温速度が $2 \times 10^4 \sim 2 \times 10^6$ °C/秒の範囲となる加熱手段を備えたことを特徴とする。請求項6に記載の熱処理装置は、被処理物の一部またはその全体を予め加熱する予備加熱手段と、被処理物の一部またはその全体の昇温速度が $2 \times 10^4 \sim 2 \times 10^6$ °C/秒の範囲で昇温して所望の温度に到達した後、直ちに該予備加熱温度まで降温する工程を含むことを特徴とする。請求項7に記載の熱処理装置は、被処理物の一部またはその全体を予め加熱する予備加熱手段と、被処理物の一部またはその全体の昇温速度が $2 \times 10^4 \sim 2 \times 10^6$ °C/秒の範囲で昇温して所望の温度に到達した後、直ちに該予備加熱温度まで降温する工程を含むことを特徴とする。

$2 \times 10^6 ^\circ\text{C}/\text{秒}$ の範囲となる加熱手段を備えたことを特徴とする。請求項7に記載の熱処理装置は、請求項5又は請求項6に記載の熱処理装置であって、特に、前記被処理物の一部またはその全体の昇温速度が 2×10^4 ~ $2 \times 10^6 ^\circ\text{C}/\text{秒}$ の範囲となる加熱手段が、フラッシュランプであることを特徴とする。請求項8に記載の熱処理装置は、請求項6又は請求項7に記載の熱処理装置であって、特に、前記予備加熱手段が、白熱ランプであることを特徴とする。

【0010】本発明に関わる熱処理方法では、被処理物を 2×10^4 ~ $2 \times 10^6 ^\circ\text{C}/\text{秒}$ の範囲で昇温する工程を含むことを特徴とする。シリコン中に導入された不純物の活性化過程は、格子間に存在する不純物が僅かに動いてシリコンの格子点を占めるに至るプロセスである。不純物原子移動距離は、十分の数オングストロームに過ぎない。パルス幅 10 n sec のレーザで活性化が起こることは既に明らかになっているので、この不純物の移動に要する時間は 10 n sec 以下と考えて良い。すなわち、イオン注入層の活性化には 10 n sec 以下の時間しか必要ではなく、それ以上は無駄なエネルギーを加えていることになる。しかし、ごく僅かとはいえ不純物を移動させ活性化するためには、ある程度の温度が必要である。一般に、単結晶シリコン基板で 900°C 、多結晶シリコンの場合には 1000°C 程度まで加熱されなければならない。シリコンを極表層だけ昇温するにしても、 1000°C 程度まで昇温するためには 20 J/cm^2 以上のエネルギーが必要である。これだけのエネルギーを 10 n sec という短時間に照射すると、照射される光のピークパワーは $2 \times 10^9 \text{ W}$ にもおよぶ。そのためには、パターンが揮発するなどという問題が起こるのである。したがって、パターンが溶発するというような問題を避けるためには、照射するエネルギーを例えば 20 J/cm^2 としても、パルス幅を調節してパターンが揮発しない程度のピークパワーに押さえる必要がある。一方、不純物の余計な拡散を抑制するためには、パルス時間は短ければ短いほど好ましい。

【0011】パターンの溶発がなく、かつ不純物の余計な拡散を防止して所望をプロファイルを実現しうる昇温速度を本発明者が銳意検討を行った結果、昇温速度は 2×10^4 ~ $2 \times 10^6 ^\circ\text{C}/\text{秒}$ の範囲が最適であることを見いだした。したがって、少なくとも不純物原子が拡散するような温度領域では、上記のような高速で昇温を行うことを特徴とする。昇温速度が速ければ被処理物(シリコンウェーハ)表層だけが加熱されるので、ウェーハに加えられる熱の総量は少ない。そのため、降温時も急速に温度が低下する。

【0012】

【発明の実施形態】本発明の実施形態を以下に図面を用いて詳細に説明する。

【0013】【第1の実施形態】図1に、本発明の実施形

態である熱処理装置の概要を示す。図1は、被処理物であるシリコンウェーハを熱処理するための装置である。本発明の熱処理装置は、ステンレス製のチャンバー1内に不図示の試料台にシリコンウェーハWが置かれ、シリコンウェーハWを予備加熱するための予備加熱手段である白熱ランプ4、リフレクター3、石英窓11、12、シリコンウェーハWを高速で昇温降温するための加熱手段としてフラッシュランプ2を備える。本実施形態においては、電源からコンデンサーに電力が供給され、ここで蓄積されてフラッシュランプ2にパルス状に供給されてフラッシュランプ2が発光する。発光した光は、石英窓11を通してチャンバー1内部に導入されシリコンウェーハWに照射される。シリコンウェーハの熱処理方法として、図2に示すような3種類のシーケンスが可能である。

【0014】まず第1に、<加熱方法1>に示すように、白熱ランプ4を点灯せず、室温に保持されたシリコンウェーハにフラッシュランプ光を照射して昇温する加熱方法。第2に、<加熱方法2>に示すように、白熱ランプ4を用いて、予めシリコンウェーハを所定の温度まで予備加熱し、その後でフラッシュランプ2を発光させてウェーハを高い温度まで昇温して熱処理する方法。いうまでもなく、予備加熱とフラッシュランプとを組み合わせることにより、2段階の加熱や2段階の降温プロセスなど様々な熱処理が可能となる。第3に、<加熱方法3>に示すように、シリコンウェーハに加わるトータルの熱量を最小にするために、白熱ランプ4を点灯してウェーハの予備加熱を行い、所定の温度の達した後、直ちにフラッシュランプ2を点灯する。フラッシュランプ2

点灯と同時に、白熱ランプ4を消灯する。予備加熱の熱源がなくなるので、室温まで急速に温度が低下する。このようなシーケンスにより、シリコンウェーハに印加される熱量を最小に絞り込むことが可能である。いうまでもなくフラッシュランプの発光長さと強度は、回路に入れているコイルで可変することが可能である。

【0015】【第2の実施形態】P型シリコンウェーハに、ホウ素(B)を 30 keV で 10^{11} 個/ cm^2 イオン注入を行った。このウェーハを、昇温速度 $200^\circ\text{C}/\text{sec}$ の RTP、昇温速度 $10^\circ\text{C}/\text{sec}$ のフラッシュランプ、およびパルス幅 20 n sec のエキシマーレーザで熱処理して活性化を行った。

【0016】RTPを用いる熱処理ではウェーハ表面から光を照射し、裏面で温度測定するタイプの市販 RTP装置を使用した。ウェーハは室温で保持されており、光照射とともに昇温が始まり、 500 ~ 800°C の領域を最大の昇温速度である $200^\circ\text{C}/\text{sec}$ で昇温する。最高温度を 1000°C 、保持時間は0秒、すなわち 1000°C に到達後、直ちにランプを消灯して降温を開始した。

【0017】フラッシュランプを使用した場合には予備

7
加熱温度を400°Cとし、400°Cに到達後、パルスエネルギーを20J/cm²、パルス幅2msでフラッシュランプを照射した。フラッシュランプ照射後、予備加熱用の白熱ランプを消灯し降温を行った。なお、フラッシュランプのパルス数は1ショットとした。この場合、1000°Cまで昇温したので、昇温速度は3×10°C/secになる。レーザと同様にピークパワーを計算すると、10¹¹W/cm²になる。なお、この場合、降温は0.1秒で400°Cまで低下するために、降温速度は6000°C/secとなる。

【0018】エキシマーレーザ加熱の場合には、XeC1エキシマーレーザ（波長308nm）を使用した。パルス幅は10ns、エネルギーは15J/cm²とした。なお、フラッシュランプと同様に予備加熱を行い、400°Cでレーザ光を1ショットだけ照射した。したがって、この時のピークパワーは10¹¹W/cm²になる。このようにして活性化熱処理を行ったウエーハをSIMS（二次イオン質量分析計）分析を行ってホウ素（B）のプロファイルを測定し、熱処理前のプロファイルを比較した。また、広がり抵抗測定によりキャリア濃度を測定し、活性化処理後のホウ素（B）のプロファイルとキャリアのプロファイルとを比較して活性化の度合いを評価した。

【0019】 RTP、フラッシュランプ、エキシマーレーザで熱処理した場合の結果を図3、4、5の順に示す。なお、熱処理前後のホウ素のプロファイルの比較を（イ）に、熱処理後のホウ素のプロファイルとキャリアプロファイルの比較を（ロ）に示す。図3（イ）で示すRTPで熱処理した場合を見ると、熱処理後のプロファイルではピーク濃度の低下とシリコン中深い位置への拡散が見られる。これはウエーハの温度が上がっている時間が長いためであり、RTPで深いpn接合を形成するには無理があることを示している。図3（ロ）に示すようにキャリアのプロファイルを見ると、ホウ素のプロファイルとキャリアのプロファイルとが一致している。これは熱処理が活性化するには十分であったことを示している。したがって、RTPの場合、活性化は十分であるが、ウエーハに加えられたトータルの熱量が多いために拡散を誘発しており、プロファイルの保持ができないということがわかる。

【0020】図4（イ）はフラッシュランプで熱処理した場合のホウ素のプロファイルである。熱処理前のプロファイルと比較してほとんど変化がなく、余計な拡散が起きていないことが分かる。また、図4（ロ）を見ると、ホウ素のプロファイルとキャリアプロファイルとがほぼ一致しており、活性化は十分に起きたことがわかる。

【0021】図5（イ）はエキシマーレーザで熱処理した場合の結果である。パルス幅が短いためにさすがに拡散は起こっておらず、熱処理前後のプロファイルはほぼ

一致する。しかし、図5（ロ）に示すように、熱処理後のホウ素のプロファイルとキャリアのプロファイルとが一致しない。キャリア濃度は表面近傍ではホウ素の濃度と等しいが、深くなるにつれてホウ素の濃度よりもキャリア濃度が少なくなる。これは、エキシマーレーザ光が表層で吸収され深い位置まで到達しなかったために、表層では活性化が起きたが、深い位置では活性化が起こらなかつたことがわかる。以上述べたように、RTPでは加わる熱量が多いために余計な拡散が起り、一方、レーザ熱処理では吸収が表層に限られるために、深い位置の活性化ができないという問題がある。フラッシュランプのように10¹¹°C/sec程度の高速で昇温した場合には、拡散を起こすことなく充分な活性化を起こすことが可能である。

【0022】[第3の実施形態]第3実施形態を行うに当たり作成した素子の断面を図6に示す。P型シリコン基板51に素子分離領域が形成され中に酸化シリコン膜（SiO₂）52が埋め込まれている。このシリコン基板上にゲート酸化膜53、およびその上に、多結晶シリコン54とタンゲステン55の2層からなるゲート電極が形成されている。ゲート電極の両側には、いわゆる窒化シリコン膜の側壁スペーサー66が形成されている。51はイオン注入領域である。この製造過程は当業者であれば極めて常識的な範囲のため、製造プロセスの詳述は割愛する。

【0023】この試料にAsを45keVで3×10¹⁵個/cm²イオン注入を行った。このイオン注入層の活性化を実施形態2と同様の条件で行った。この場合、RTPとフラッシュランプを用いた場合にはプロセスが正常に終了したが、エキシマーレーザを照射した場合には、一部タンゲステンのゲートパターンの飛散が見られた。これは金属のエキシマーレーザ光の吸収係数がシリコンのそれよりも大きいために、シリコンよりも多くのエネルギーを吸収し温度が上がっていわゆるablation（溶発）したためと思われる。レーザ光を照射して熱処理する場合、既に述べたように極めて短いパルスで昇温するために大きなパワーを要する。そのため、試料表面に吸収係数の異なる物質が存在した場合には、このような現象が起こる問題がある。Asの深さをSIMSで測定したところ、実施形態2と同様にRTPの場合深い位置への拡散が見られたのに対し、フラッシュランプで熱処理した場合には、プロファイルの変化は起こっていないことが確認された。

【0024】イオン注入層の活性化には、シリコン基板の場合最低でも800°C程度、多結晶シリコン中に注入された不純物の場合には1000°Cが必要である。ここまで加熱しなければ活性化は起こらない。不純物のプロファイルを保持するためには、活性化終了後できるだけ急速に冷却し、クエンチすることが好ましい。ウエーハに加えられた熱は放射と伝導によりウエーハから奪われ

るが、当然のことながら加えた熱量が少ない程冷却が早い。その意味で、所望の温度までできるだけ高速で昇温し、直ちに冷却するのが良い。

【0025】さらに、できるだけ短時間に昇温するためには、時間が短いほど大きなピークパワーが必要である。ピークパワーが大きすぎると、上記のように吸収係数の大きな材料ではパターンが溶発してしまう。フラッシュランプのパワーを $30\text{J}/\text{cm}^2$ にして室温から 1000°C まで 1msec で昇温したところ、 400°C に予備加熱して $20\text{J}/\text{cm}^2$ で加熱した場合と同様の As のプロファイルとキャリア濃度を実現することができた。また、溶発は全く観察されなかった。したがって、 $2 \times 10^\circ\text{C}/\text{sec}$ の昇温速度までならば、溶発は起こらずに充分に不純物の活性化を行えることが確認された。

【0026】不純物のプロファイルを保持するためには、活性化終了後できるだけ急速に冷却し、クエンチすることが好ましいことは先にも述べたが、このことにつき以下のようなことが分かっている。すなわち、図3の RTP の場合は、降温速度が小さいので所望の処理温度に到達してから降温するまでの時間が長く、その間にホウ素が深いところまで拡散してしまい、最適な降温の条件とすることができないことがわかる。ちなみに RTP 装置における降温速度は早くともせいぜい $80^\circ\text{C}/\text{sec}$ 程度である。また、図5に示すエキシマーレーザでの熱処理の場合は、そのパルス幅が 10nsec と短いので、レーザーは表層で吸収されて深い位置まで到達せず、熱処理は表層のみに限られる。従って、降温は表層からの熱の散逸のみであるので即座に行われ、したがって降温速度が大きい。よって、降温速度はホウ素のプロファイルを変えることの無い速度とすることができる、最適な熱処理条件とができる。これに対し、図4に示すフラッシュランプでの熱処理の場合は、降温速度が $150^\circ\text{C}/\text{sec}$ 程度以上である。この降温速度は、昇温時の熱によって熱処理が行われた後に、その熱がウエーハ全体に行き渡る前に降温させることができるように最適な降温速度であるため、ホウ素の拡散深さ（プロファイル）を最適に保つことができる。このようにフラッシュランプでの熱処理は、昇温と降温の両方で最適な*

*熱処理条件とすることができます。なお、最適な降温速度を求めるために、ウエーハに BF_3 イオンを注入し、熱処理の条件である昇温速度、降温速度を変えて熱処理実験を行ない、拡散層深さの測定を行なった。熱処理後のホウ素の拡散状態から、降温速度が $150^\circ\text{C}/\text{sec}$ 以上であればほぼ最適な降温速度であることが確認できている。そしてこのような降温速度は、RTP 装置、エキシマーレーザでは得ることができず、フラッシュランプによる加熱によって始めて可能となる。なお、熱処理によってホウ素のプロファイルを変えないためにさらに大きな降温速度を得るには、フラッシュランプに窒素ガスを吹き付けて強制的に冷却する方法もある。

【0027】

【発明の効果】以上述べてきたように、本発明を用いるならば、イオン注入された不純物を拡散させることなく 100% 活性化できることができた。したがって、 10nm 台の深さを持つ極浅 p-n 接合を形成することも可能である。

【図面の簡単な説明】

20 【図1】本発明の第1の実施形態に関わる装置の断面概略図である。

【図2】本発明の第1の実施形態に関わる加熱のシーケンスを示す説明図である。

【図3】従来の RTP 装置を用いた場合の不純物のプロファイルとキャリアプロファイルを示す図面である。

【図4】本発明のフラッシュランプを用いた実施形態に
関わる不純物のプロファイルとキャリアプロファイルを示す説明図である。

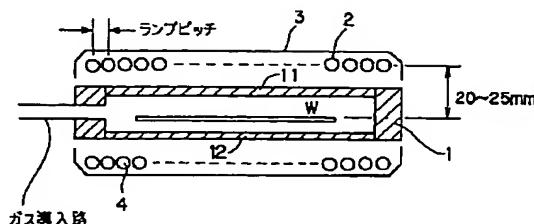
30 【図5】従来のレーザー装置を用いた場合の不純物のプロファイルとキャリアプロファイルを示す図面である。

【図6】シリコンウエーハの説明図である。

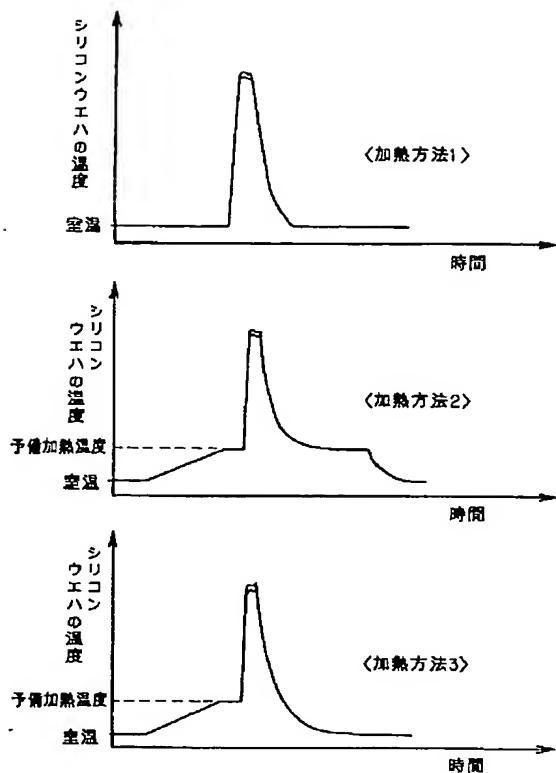
【符号の説明】

1	チャンバー
11	石英窓
12	石英窓
2	フラッシュランプ
3	リフレクター
4	白熱ランプ

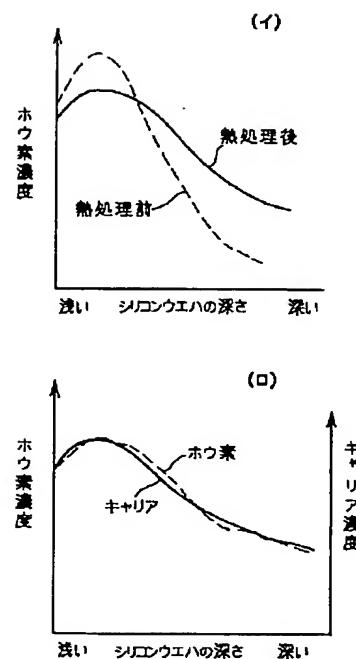
【図1】



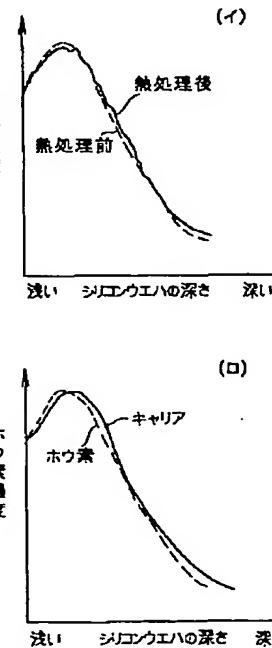
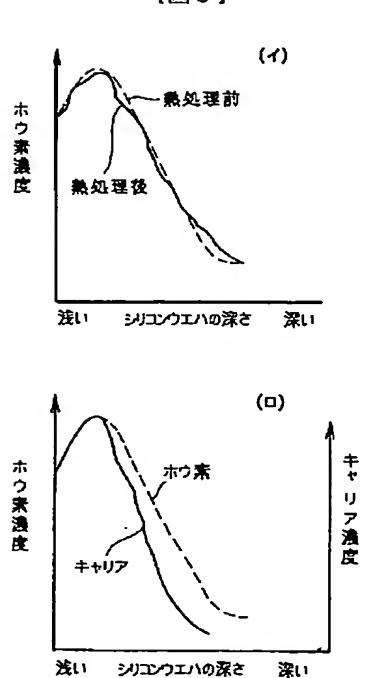
【図2】



【図3】



【図4】



【図6】

